

【書類名】 明細書

【発明の名称】 微細放電加工機

【特許請求の範囲】

【請求項1】 放電加工対象のワークを保持する第1保持部と、

前記第1保持部によって保持される前記ワークに対向して設けられる電極と、
前記電極および前記ワークに電荷を供給することにより前記ワークと前記電極との間にパルス放電を生じさせる電荷供給部と、

前記電荷供給部に電圧を印加する電源部と、

前記電荷供給部と、前記電極、前記ワークおよび前記電源部の内の少なくとも1つとの間に設けられるスイッチ部と、

前記スイッチ部のオンおよびオフを制御するスイッチ制御部と、

前記ワークと前記電極との間に流れる電流をモニタするモニタ部と、

前記モニタされた電流に基づいて前記ワークと前記電極との間で短絡が発生しているか否かを判定する判定部と

を備え、

前記スイッチ制御部は、前記ワークと前記電極との間で短絡が発生していると判定された場合には、前記スイッチ部を所定時間オフにする、放電加工機。

【請求項2】 前記電極の位置を移動させる移動制御部をさらに備え、

前記移動制御部は、前記ワークと前記電極との間で短絡が発生していると判定された場合には、前記ワークと前記電極との間の距離が増大するように前記電極の位置を移動させる、請求項1に記載の放電加工機。

【請求項3】 前記電極を回転させるモータと、

前記モータと前記電極とを保持する第2保持部と、
をさらに備え、

前記第2保持部は低熱膨張材を含む、請求項1に記載の放電加工機。

【請求項4】 前記低熱膨張材の熱膨張係数は 5×10^{-6} 以下である、請求項3に記載の放電加工機。

【請求項5】 前記低熱膨張材はインバー合金である、請求項3に記載の放電加工機。

P26964

【請求項6】 前記電極を回転させるモータと、
前記モータと前記電極とを保持する第2保持部と、
をさらに備え、

前記モータと前記第2保持部との間に熱絶縁体が設けられている、請求項1に
記載の放電加工機。

【請求項7】 前記電極を回転させるモータと、
前記電極を保持する第2保持部と、
をさらに備え、

前記モータと前記第2保持部との間に空間が存在する、請求項1に記載の放電加
工機。

【請求項8】 放電加工対象のワークを保持する第1保持部と、
前記第1保持部によって保持される前記ワークに対向して設けられる電極と、
前記電極および前記ワークに電荷を供給することにより前記ワークと前記電極
との間にパルス放電を生じさせる電荷供給部と、
前記電荷供給部に電圧を印加する電源部と、
前記電荷供給部と、前記電極、前記ワークおよび前記電源部の内の少なくとも
1つとの間に設けられるスイッチ部と、
前記スイッチ部のオンおよびオフを制御するスイッチ制御部と、
を備え、

前記スイッチ制御部は、前記パルス放電の持続時間が所定時間以下となるよう
に前記スイッチ部のオンおよびオフを交互に切り替える、放電加工機。

【請求項9】 前記所定時間は、前記パルス放電の開始から前記電極および
前記ワークの内の一方の電解が始まる迄の時間である、請求項8に記載の放電加
工機。

【請求項10】 前記電極を回転させるモータと、
前記モータと前記電極とを保持する第2保持部と、
をさらに備え、

前記第2保持部は低熱膨張材を含む、請求項8に記載の放電加工機。

【請求項11】 前記低熱膨張材の熱膨張係数は 5×10^{-6} 以下である、請

P26964

求項 10 に記載の放電加工機。

【請求項 12】 前記低熱膨張材はインバー合金である、請求項 10 に記載の放電加工機。

【請求項 13】 前記電極を回転させるモータと、
前記モータと前記電極とを保持する第 2 保持部と、
をさらに備え、
前記モータと前記第 2 保持部との間に熱絶縁体が設けられている、請求項 8 に記載の放電加工機。

【請求項 14】 前記電極を回転させるモータと、
前記電極を保持する第 2 保持部と、
をさらに備え、
前記モータと前記 2 保持部との間に空間が存在する、請求項 8 に記載の放電加工機。

【請求項 15】 放電加工対象のワークを保持する第 1 保持部と、
前記第 1 保持部によって保持される前記ワークに対向して設けられる電極と、
前記電極および前記ワークに電荷を供給することにより前記ワークと前記電極との間にパルス放電を生じさせる電荷供給部と、
前記電荷供給部に電圧を印加する電源部と、
前記ワークと前記電極との間に流れる電流をモニタするモニタ部と、
前記モニタされた電流に基づいて前記パルス放電の周期が所定の周期以下であるか否かを判定する判定部と、

前記パルス放電の周期が所定の周期以下であると判定された場合には、前記パルス放電の周期が前記所定の周期より長くなるように前記電源部と前記電荷供給部との間の電気抵抗値を調整する調整部と

を備える、放電加工機。

【請求項 16】 前記電極を回転させるモータと、
前記モータと前記電極とを保持する第 2 保持部と、
をさらに備え、

前記第 2 保持部は低熱膨張材を含む、請求項 15 に記載の放電加工機。

P26964

【請求項 17】 前記低熱膨張材の熱膨張係数は 5×10^{-6} 以下である、請求項 16 に記載の放電加工機。

【請求項 18】 前記低熱膨張材はインバー合金である、請求項 16 に記載の放電加工機。

【請求項 19】 前記電極を回転させるモータと、
前記モータと前記電極とを保持する第 2 保持部と、
をさらに備え、
前記モータと前記第 2 保持部との間に熱絶縁体が設けられている、請求項 15 に記載の放電加工機。

【請求項 20】 前記電極を回転させるモータと、
前記電極を保持する第 2 保持部と、
をさらに備え、
前記モータと前記第 2 保持部との間に空間が存在する、請求項 15 に記載の放電加工機。

【請求項 21】 放電加工対象のワークを保持する第 1 保持部と、
前記第 1 保持部によって保持される前記ワークに対向して設けられる電極と、
前記電極および前記ワークに電荷を供給することにより前記ワークと前記電極との間にパルス放電を生じさせる電荷供給部と、
前記電荷供給部に電圧を印加する電源部と、
前記ワークと前記電極との間に流れる電流をモニタするモニタ部と、
前記モニタされた電流に基づいて前記ワークと前記電極との間で所定時間以上短絡が発生し続けているか否かを判定する判定部と、
前記ワークと前記電極との間で所定時間以上短絡が発生し続けていると判定された場合には、前記パルス放電の周期が長くなるように前記電源部と前記電荷供給部との間の電気抵抗値を調整する調整部と
を備える、放電加工機。

【請求項 22】 前記電極を回転させるモータと、
前記モータと前記電極とを保持する第 2 保持部と、
をさらに備え、。

P26964

前記第2保持部は低熱膨張材を含む、請求項21に記載の放電加工機。

【請求項23】 前記低熱膨張材の熱膨張係数は 5×10^{-6} 以下である、請求項22に記載の放電加工機。

【請求項24】 前記低熱膨張材はインバー合金である、請求項22に記載の放電加工機。

【請求項25】 前記電極を回転させるモータと、
前記モータと前記電極とを保持する第2保持部と、
をさらに備え、

前記モータと前記第2保持部との間に熱絶縁体が設けられている、請求項21に記載の放電加工機。

【請求項26】 前記電極を回転させるモータと、
前記電極を保持する第2保持部と、
をさらに備え、

前記モータと前記第2保持部との間に空間が存在する、請求項21に記載の放電加工機。

【発明の詳細な説明】

【発明の属する技術分野】

本発明は放電加工機に関し、特に、インクジェットプリンタのインク吐出用ノズルなどの微細径穴の加工、化学繊維製造用ノズルのノズル穴加工および自動車エンジンの燃料噴射ノズル穴加工などに使用される微細放電加工機に関する。

【従来の技術】

近年、インクジェットプリンタ用のインク吐出ノズル、化学繊維生産機械用の原材料吐出ノズル、自動車エンジンの燃料噴射ノズルなどにおいては、それらの穴形状が微細化かつ精密化されている。そのような微細径かつ精密形状の多量のノズル穴を高精度に形成する穴加工が要求されるようになっている。なおこのような加工は通常数時間に渡って加工されることが多く、高い位置決め精度が要求されるようになっている。

これら的高精度な穴加工には、放電により微細な穴加工が可能な微細放電加工機が使用され、そのような放電により微細に穴加工するために、微細放電加工機

P26964

には、その放電動作を高精度に制御することが可能な放電制御装置が備えられている。

図8は、従来の放電加工機1300を示す。放電加工機1300は、放電加工対象のワーク350を保持する保持部351と、保持部351によって保持されるワーク350に対向して設けられる電極310と、電極310を保持するヘッド部320と、電極310およびワーク350に電荷を供給する電荷供給部390と、電荷供給部390の両端に電圧を印加する電源部360と、電荷供給部390と電源部360との間に設けられる電気抵抗370および380と、ワーク350と電極310との間に流れる電流をモニタするモニタ部301と、電極310とワーク350との間で短絡が発生しているか否かを判定する判定部300と、ヘッド部320を支持するテーブル321と、テーブル321を支持し、Z軸方向に摺動可能なニアガイド330と、軸回転によりテーブル321をZ軸方向に摺動させるボールネジ340と、ボールネジ340を軸回転させるモータ315と、モータ315を駆動するモータドライバ312と、モータドライバ312にモータ315を駆動するように命令するモータ制御部310とを備える。保持部351は加工液が供給される加工槽であり得る。

直流電源である電源部360が、コンデンサである電荷供給部390の両端に電圧を印加することにより、充電時定数に従って電荷供給部390に電荷が蓄積される。充電時定数は、電気抵抗370、380および電荷供給部390の各値により決定される。電荷供給部390に蓄積された電荷が電極310およびワーク350に供給されることにより電極310とワーク350との間で放電が発生する。充電時定数に従って、電荷供給部390への電荷の蓄積と、蓄積された電荷の電極310およびワーク350への供給とを繰り返すことにより、電極310とワーク350との間でパルス放電が発生する。このパルス放電によりワーク350が加工される。

ワーク350の加工は、例えば操作者のキー操作等による加工開始命令に従って開始される。加工開始命令により、電荷供給部390に電荷が蓄積されるとともに、モータ制御部310はモータドライバ312に電極310を下降させるようにモータ315を駆動する命令を出す。モータ駆動により電極310とワーク

P26964

350との間の距離が小さくなり、放電可能な距離になると、電極310とワーク350との間でパルス放電が発生し、ワーク350の加工が開始する。

放電加工機1300では、モニタ部301が電源部360と電荷供給部390との間を流れる電流をモニタする。モニタ部301はまた、電極310とワーク350との間の電圧をモニタし得る。モニタ部301は、電流のモニタ結果を判定部300に出力する。

判定部300は、電流のモニタ結果から電極310とワーク350との間で短絡が発生しているか否かを判断し、短絡が発生していると判断した場合は、その短絡状態を示す短絡検出信号を、モータ制御部310へ出力する。この短絡検出信号に従って、モータ制御部310は、ワーク350と電極310との間で発生している短絡が続く限り、モータドライバ312に電極310を上昇させるようにモータ315を駆動する命令を出す。ワーク350と電極310との間で発生している短絡が止まるまで、電極310のZ軸方向の上昇を継続することになる。

電極310のZ軸方向の上昇により、ワーク350と電極310との間に機械的な絶縁距離が確保されると短絡が止まる。判定部300が短絡が止まったことを検出すると、モータドライバ312は放電開始位置まで電極310を下降させるようにモータ315を駆動して、放電加工を再開して継続する。

以上のような放電動作を行うことにより、ワーク350に対して放電加工が行われる。

また、真円度の高い穴加工を行う場合、電極310はスピンドルモータにより回転駆動させられながら放電加工を行うが、このような加工は通常数時間に渡って行なわれる。

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記のような従来の放電加工機1300では、短絡が発生する度に、短絡を止めるために電極310の上昇および下降を繰り返すことになる。このような上昇および下降動作は多くの時間を要するので、全体の加工時間が著しく長くなるという問題があった。

さらに、放電加工機1300では、短絡の発生を検出してから再度放電加工を開始するまで、ワーク350と電極310の間には高電圧が常にかかった状態

P25964

になる。加工槽である保持部351に供給する加工液（例えば脱イオン水）を用いて、放電で生じる熱の冷却および加工屑の除去を行いながら放電加工する場合には、ワーク350と電極810との間に高電圧が常にかかっているの、ワーク350および電極810に電解が発生する。この電解の発生に起因して目標とする加工以外に異常加工が発生し、ワーク350の加工品位が低下するという問題があった。

また、放電加工機1800では、モータ50やスピンドルモータが連続して回転することにより発熱し、この熱がステンレス材または鉄鋳物（FC材）などからなるヘッド部320やボールネジ340やリニアガイド330などに伝わり熱膨張を起こす。この熱膨張により電極310が位置ずれを起こし、加工精度が低下するという問題があった。例えば、ヘッド部320が熱膨張率 17×10^{-6} のステンレス材からなり、長さが約50mmである場合、スピンドルモータから発生する熱によりヘッド部320が例えば3度温度上昇すると、電極310は加工位置から2.5 μ m位置ずれを起こすことになる。

本発明は、上記従来技術の問題点を解決するために、ワークと電極との間で発生している短絡を瞬時に止めることおよびワークと電極との間での短絡の発生を防ぐことにより加工速度を向上させることを目的とする。また、本発明は、脱イオン水等の加工液を用いて放電加工する場合に異常加工の原因となる電極およびワークの電解を防ぐことによって、ワークの加工品位を向上させることを目的とする。さらに、本発明は、長時間加工時におけるモータの発熱に伴う電極の位置ずれを防止し、電極の高精度な位置決めを実現することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

本発明の放電加工機は、放電加工対象のワークを保持する第1保持部と、第1保持部によって保持されるワークに対向して設けられる電極と、電極およびワークに電荷を供給することによりワークと電極との間にパルス放電を生じさせる電荷供給部と、電荷供給部に電圧を印加する電源部と、電荷供給部と、電極、ワークおよび電源部の内の少なくとも1つとの間に設けられるスイッチ部と、スイッチ部のオンおよびオフを制御するスイッチ制御部と、ワークと電極との間に流れる電流をモニタするモニタ部と、モニタされた電流に基づいてワークと電極との

P26964

間で短絡が発生しているか否かを判定する判定部とを備え、スイッチ制御部は、ワークと電極との間で短絡が発生していると判定された場合には、スイッチ部を所定時間オフにし、そのことにより上記目的が達成される。

電極の位置を移動させる移動制御部をさらに備え、移動制御部は、ワークと電極との間で短絡が発生していると判定された場合には、ワークと電極との間の距離が増大するように電極の位置を移動させてもよい。

電極を回転させるモータと、モータと電極とを保持する第2保持部とをさらに備え、第2保持部は低熱膨張材を含んでもよい。

低熱膨張材の熱膨張係数は 5×10^{-6} 以下であってもよい。

低熱膨張材はインバー合金であってもよい。

電極を回転させるモータと、モータと電極とを保持する第2保持部とをさらに備え、モータと第2保持部との間に熱絶縁体が設けられていてもよい。

電極を回転させるモータと、電極を保持する第2保持部とをさらに備え、モータと2保持部との間に空間が存在してもよい。

本発明の放電加工機は、放電加工対象のワークを保持する第1保持部と、第1保持部によって保持されるワークに対向して設けられる電極と、電極およびワークに電荷を供給することによりワークと電極との間にパルス放電を生じさせる電荷供給部と、電荷供給部に電圧を印加する電源部と、電荷供給部と、電極、ワークおよび電源部の内の少なくとも1つとの間に設けられるスイッチ部と、スイッチ部のオンおよびオフを制御するスイッチ制御部とを備え、スイッチ制御部は、パルス放電の持続時間が所定時間以下となるようにスイッチ部のオンおよびオフを交互に切り替え、そのことにより上記目的が達成される。

所定時間は、パルス放電の開始から電極およびワークの内の一方の電解が始まる迄の時間であってもよい。

電極を回転させるモータと、モータと電極とを保持する第2保持部とをさらに備え、第2保持部は低熱膨張材を含んでもよい。

低熱膨張材の熱膨張係数は 5×10^{-6} 以下であってもよい。

低熱膨張材はインバー合金であってもよい。

電極を回転させるモータと、モータと電極とを保持する第2保持部とをさらに

P26964

備え、モータと第2保持部との間に熱絶縁体が設けられていてもよい。

電極を回転させるモータと、電極を保持する第2保持部とをさらに備え、モータと2保持部との間に空間が存在してもよい。

本発明の放電加工機は、放電加工対象のワークを保持する第1保持部と、第1保持部によって保持されるワークに対向して設けられる電極と、電極およびワークに電荷を供給することによりワークと電極との間にパルス放電を生じさせる電荷供給部と、電荷供給部に電圧を印加する電源部と、ワークと電極との間に流れる電流をモニタするモニタ部と、モニタされた電流に基づいてパルス放電の周期が所定の周期以下であるか否かを判定する判定部と、パルス放電の周期が所定の周期以下であると判定された場合には、パルス放電の周期が所定の周期より長くなるように電源部と電荷供給部との間の電気抵抗値を調整する調整部とを備え、そのことにより上記目的が達成される。

電極を回転させるモータと、モータと電極とを保持する第2保持部とをさらに備え、第2保持部は低熱膨張材を含んでもよい。

低熱膨張材の熱膨張係数は 5×10^{-6} 以下であってもよい。

低熱膨張材はインバー合金であってもよい。

電極を回転させるモータと、モータと電極とを保持する第2保持部とをさらに備え、モータと第2保持部との間に熱絶縁体が設けられていてもよい。

電極を回転させるモータと、電極を保持する第2保持部とをさらに備え、モータと2保持部との間に空間が存在してもよい。

本発明の放電加工機は、放電加工対象のワークを保持する第1保持部と、第1保持部によって保持されるワークに対向して設けられる電極と、電極およびワークに電荷を供給することによりワークと電極との間にパルス放電を生じさせる電荷供給部と、電荷供給部に電圧を印加する電源部と、ワークと電極との間に流れる電流をモニタするモニタ部と、モニタされた電流に基づいてワークと電極との間で所定時間以上短絡が発生し続けているか否かを判定する判定部と、ワークと電極との間で所定時間以上短絡が発生し続けていると判定された場合には、パルス放電の周期が長くなるように電源部と電荷供給部との間の電気抵抗値を調整する調整部とを備え、そのことにより上記目的が達成される。

電極を回転させるモータと、モータと電極とを保持する第2保持部とをさらに備え、第2保持部は低熱膨張材を含んでもよい。

低熱膨張材の熱膨張係数は 5×10^{-6} 以下であってもよい。

低熱膨張材はインバー合金であってもよい。

電極を回転させるモータと、モータと電極とを保持する第2保持部とをさらに備え、モータと第2保持部との間に熱絶縁体が設けられていてもよい。

電極を回転させるモータと、電極を保持する第2保持部とをさらに備え、モータと第2保持部との間に空間が存在してもよい。

【発明の実施の形態】

以下、本発明の好適な実施形態について、図面を参照しながら説明する。

（実施形態1）

図1Aは、本発明の実施形態における放電加工機1000を示す。放電加工機1000は微細放電加工機であり得る。

放電加工機1000は、放電加工対象のワーク150を保持する保持部151と、保持部151によって保持されるワーク150に対向して設けられる電極10と、電極10を保持するヘッド部220と、電極10およびワーク150に電荷を供給する電荷供給部90と、電荷供給部90の両端に電圧を印加する電源部60と、電荷供給部90と電源部60との間に設けられる電気抵抗70および80と、電荷供給部90とワーク150との間に設けられるスイッチ部140と、スイッチ部140のオンおよびオフを制御するスイッチ制御部130と、ワーク150と電極10との間に流れる電流をモニタするモニタ部101と、電極10とワーク150との間で短絡が発生しているか否かを判定する判定部100と、ヘッド部220に保持された電極10の位置を移動させる移動制御部111とを備える。保持部151は加工液が供給される加工槽であり得る。移動制御部111は、ヘッド部220を支持するテーブル20と、テーブル20を支持し、Z軸方向に揺動可能なりニアガイド30と、軸回転によりテーブル20をZ軸方向に揺動させるボールネジ40と、ボールネジ40を軸回転させるモータ50と、モータ50を駆動するモータドライバ120と、モータドライバ120にモータ50を駆動するように命令するモータ制御部110とを備える。放電加工機1000

0の動作を以下に説明する。

直流電源である電源部60が、コンデンサである電荷供給部90の両端に電圧を印加することにより、充電時定数に従って電荷供給部90に電荷が蓄積される。充電時定数は、電気抵抗70、80および電荷供給部90の各値により決定される。電荷供給部90に蓄積された電荷が電極10およびワーク150に供給されることにより電極10とワーク150との間で放電が発生する。充電時定数に従って、電荷供給部90への電荷の蓄積と、蓄積された電荷の電極10およびワーク150への供給とを繰り返すことにより、電極10とワーク150との間でパルス放電が発生する。このパルス放電によりワーク150が加工される（例えば穴加工）。

また、ワーク150の加工平面（X-Y平面）に対して電極10をZ軸方向に摺動する場合、モータ制御部110はモータドライバ120にモータ50を駆動するように命令し、モータドライバ120はモータ50を駆動する。駆動されたモータ50がボールネジ40を回転させることにより、テーブル20がZ軸方向に摺動する。これにより、電極10はZ軸方向に摺動する。

ワーク150の加工は、例えば操作者のキー操作等による加工開始命令に従って開始される。加工開始命令により、電荷供給部90に電荷が蓄積されるとともに、モータ制御部110はモータドライバ120に電極10を下降させるようにモータ50を駆動する命令を出す。モータ駆動により電極10とワーク150との間の距離が小さくなり、放電可能な距離になると、電極10とワーク150との間でパルス放電が発生し、ワーク150の加工が開始する。

以上のような放電加工機1000の動作において、パルス放電による加工がスタートした後は、予め設定された電極10の送り速度で加工が進むことになる。しかし、電極10とワーク150との間でアークが発生した場合、電流がアークを伝って流れるので、加工が進まなくなる。また、電極10とワーク150との間に入り込んだ加工屑を介して電極10とワーク150とが直接電氣的に接続された場合にも、電流が加工屑を伝って流れるので、加工が進まなくなる。このような、アークおよび加工屑等による電流経路の発生を、本発明の実施形態では正常なパルス放電と区別して短絡と呼ぶ。

P25964

放電加工機1000では、電極10とワーク150との間で短絡が発生した場合、スイッチ部140をオフにして電極10とワーク150への電荷の供給経路を遮断することにより、電極10およびワーク150への電荷の供給を瞬時に止める。ワーク150および電極10への電荷の供給を瞬時に止めることにより、電極10とワーク150との間で発生している短絡を瞬時に止めることができる。

図1Aおよび図2を参照して、上記のような放電加工機1000の短絡を瞬時に止める動作について説明する。放電加工機1000では、モニタ部101が電極10とワーク150との間を流れる電流をモニタする。モニタ部101はまた、電極10とワーク150との間の電圧をモニタし得る。モニタ部101は、電流のモニタ結果をモニタ出力信号M2として判定部100に出力する。

判定部100は高次のローパスフィルタを用いて、モニタ出力信号M2から正常放電成分SD₁を除去する。モニタ出力信号M2に短絡成分TD1が含まれている場合は、判定部100はローパスフィルタ処理により短絡成分TD1に刻印する低周波成分FS1を抽出する。判定部100は、抽出した低周波成分FS1が閾値SL1以上であるかを判定する。閾値SL1は電源部60と電荷供給部90と関係から決定され得る。判定部100は、低周波成分FS1が閾値SL1以上であると判定した場合は、短絡検出信号TK1を生成し、生成した短絡検出信号TK1をスイッチ制御部130に出力する。

スイッチ制御部130は短絡検出信号TK1を受信すると、スイッチ制御信号GS1をオフにすることによりスイッチ部140をオフにする。スイッチ部140はFET等であり得る。上述したように、スイッチ部140をオフにして電極10とワーク150への電荷の供給経路を遮断することにより、電極10とワーク150との間で発生している短絡を瞬時に止めることができる。

スイッチ部140をオフしてから所定の時間が経過した後に、スイッチ制御部130は、スイッチ制御信号GS1を出力してスイッチ部140をオンにする。スイッチ部140をオンにすることにより、電極10とワーク150との間のパルス放電が再開される。スイッチ部140をオフしておく所定の時間は、例えば、電極10とワーク150との間に存在するプラズマ、イオンまたは加工屑が

P26964

除去されるのに十分な時間である。

上述のように、電極10とワーク150との間で短絡が発生した場合には、スイッチ部140をオフにして電極10とワーク150への電荷の供給経路を遮断することにより、電極10とワーク150との間で発生している短絡を瞬時に止めることができる。このような放電加工機1000の動作に加えて、電極10とワーク150との間で短絡が発生した場合には、電極10とワーク150との間の距離を増大させて十分な絶縁距離を確保することにより、発生している短絡をより確実に止めることができる。

図3を参照して、モータ出力信号M2に短絡成分TD1が含まれていた場合、スイッチ制御部130は、判定部100が生成した短絡検出信号TK1に基づいてスイッチ制御信号CS1をオフにしてスイッチ部140をオフにする。図3に示す放電加工機1000の動作では、判定部100は、短絡検出信号TK1をモータ制御部110にも出力する。モータ制御部110は短絡検出信号TK1を受信すると、上昇命令信号JO2をモータドライバ120に出力し、モータドライバ120は電極10を高速で上昇させるようにモータ50を駆動する。電極10を上昇させて電極10とワーク150との間の距離を増大させることにより、電極10とワーク150との間に十分な絶縁距離が確保される。

所定の時間経過後、モータ制御部110は下降命令信号KA2をモータドライバ120に出力し、モータドライバ120は電極10を下降させるようにモータ50を駆動して、電極10とワーク150との間の距離を放電可能な距離に戻す。

スイッチ部140をオフにする動作と並行して、電極10を上昇させて電極10とワーク150との間の距離を増大させることにより、電極10とワーク150との間に十分な絶縁距離が確保される。このような動作により、電極10とワーク150との間で発生している短絡を瞬時に且つ確実に止めることができる。

また、上昇命令信号JO2による電極10の上昇量と、下降命令信号KA2による電極10の下降量とが異なるように設定し、短絡が発生した位置と異なる位置に電極10を復帰させることになり、電極10およびワーク150に電荷を供給した時に短絡が再発する可能性を減少させることができる。

図1Bに、放電加工機1000の改変例である放電加工機1100を示す。放

P26964

電加工機 1100 では、モニタ部 101' およびスイッチ部 140' が電源部 60 と電荷供給部 90 との間に設けられる。それ以外の構成は、放電加工機 1000 と同様である。モニタ部 101' は、電源部 60 と電荷供給部 90 との間の電流および電圧から導き出した電極 10 とワーク 150 との間を流れる電流の値をモニタし、モニタ出力信号 M2 を判定部 100 に出力する。スイッチ部 140' は、スイッチ部 140 と同様にスイッチ制御部 130 によってオンおよびオフを制御される。

図 1B に示す放電加工機 1100 ようにモニタ部 101' およびスイッチ部 140' が配置されても、上述した放電加工機 1000 と同様の動作を行うことができる。

また、図 1 に示す放電加工機 1000 のスイッチ部 140 が電荷供給部 90 と電極 10 との間に設けられてもよい。また、スイッチ部 140 は、電源部 60 と電荷供給部 90 との間、電荷供給部 90 と電極 10 およびワーク 150 との間に複数個設けられてもよい。

(実施形態 2)

図 4 に、本発明の実施形態 2 における放電加工機 1000 の動作を示す。

脱イオン水等の加工液を用いて加工を行なう場合、電極 10 およびワーク 150 に高電圧が印加されたままになると、電極 10 およびワーク 150 で電解が発生する。このような電解の発生はワーク 150 の異常加工の原因となるので、電解の発生を防止することが望ましい。本実施形態では、スイッチ制御部 130 が、電極 10 とワーク 150 との間でのパルス放電の持続時間が所定時間以下となるようにスイッチ部 140 のオンおよびオフを交互に切り替えることで、電解の発生を防止する。

スイッチ制御部 130 は、図 4 に示すようなオンとオフとが交互に切り替わるスイッチ制御信号 GS2 をスイッチ部 140 に出力して、スイッチ部 140 のオンおよびオフを交互に切り替える。スイッチ部 140 をオンにする時間は、パルス放電の開始から電極 10 およびワーク 150 の内的一方の電解が始まる迄の時間である。スイッチ部 140 をオフにする時間は、電極 10 とワーク 150 との間に存在するスラズマおよびイオンが除去されるのに十分な時間であり得る。

P26964

また、少なくとも1回の放電を行うために、スイッチ部140をオンにする時間は、パルス放電の1つの放電の幅以上の長さとする。パルス放電のパルス周期は、電気抵抗70および80および電荷供給部90から定まる。例えば、電気抵抗70および80がそれぞれ1K Ω 、コンデンサである電荷供給部90が10pFの場合、パルス放電の1つの放電の幅は約10ns程度になる。また、モニタ部101のモニタ結果からパルス放電の1つの放電の幅を検出して、検出された1つの放電の幅以上となるように、スイッチ部140をオンにする時間を検出毎に設定してもよい。

パルス放電の開始から電極10およびワーク150の内の一方の電解が始まる迄の時間は加工条件（電極10、ワーク150および加工液の種類、電圧、温度等）によって異なるので、個々の加工条件において予め測定された電解が始まる時間に基づいて、スイッチ部140をオンにする時間が設定され得る。例えば、電極10がタンダステン、ワーク150がステンレス、加工液が脱イオン水であり、電極10およびワーク150に印加される電圧が100Vである場合、パルス放電の開始から電解が始まる迄の時間は約100nsであるが、本発明はこの時間に限定されない。

上述のように、電極10とワーク150との間でのパルス放電の持続時間が所定時間以下となるようにスイッチ部140のオンおよびオフを交互に切り替えることで、電解の発生を防止することができる。電解の発生を防止することにより、ワーク150の異常加工を防止することができる。

また、短絡が発生した場合には、実施形態1と同様の動作によりスイッチ部140をオフにすることにより、短絡を止めることができる。

(実施形態3)

図5は、本発明の本実施形態3における放電加工機1200を示す。放電加工機1200は微細放電加工機であり得る。放電加工機1200は、判定部102と、電気抵抗71および72と、調整部73とを備える。調整部73は、電気抵抗71および72の何れかを選択することにより、電源部60と電荷供給部90との間の電気抵抗を調整する。放電加工機1200のそれ以外の構成は、放電加工機1000と同様である。

例えば、脱イオン水雰囲気中にて、 $\phi 15\mu\text{m}$ のタングステン電極軸を用いて、ステンレス板に $50\mu\text{m}$ の深さの穴を形成する場合を考える。選択された電気抵抗 71 を $1\text{K}\Omega$ とし、電荷供給部 90 を 10pF とし、電源部 60 を 70V として放電加工を行うと、約 $30\mu\text{m}$ までの深さは短絡の発生もなく加工は良好に進むが、この深さから次第に短絡状態が増加し、加工が進まないことになる。これは、加工深さが深くなるに従って物理的な放電環境が変化し、図6に示すように次第にパルス放電周期が短くなり、パルス放電周期が短くなることにより短絡が発生し易くなるためと考えられる。

本実施形態において、判定部 102 は、モニタ部 101 からのモニタ出力信号 $M2$ から、パルス放電の周期が所定の周期以下であるか否かを判定する。所定の周期は、短絡が発生し易くなるパルス放電の周期より長く設定される。このような所定の周期は、加工時においてモニタ部 101 からのモニタ出力信号 $M2$ によって短絡が頻繁に発生するパルス周期を決定し、決定されたパルス周期以上となるように加工毎に設定してもよい。

図5および図6を参照して、判定部 102 は、パルス放電の周期が所定の周期以下であると判定した場合には、抵抗調整信号 $TK2$ を調整部 73 へ出力する。調整部 73 は、抵抗調整信号 $TK2$ を受信すると、電源部 60 と電荷供給部 90 とに電気的に接続される電気抵抗を電気抵抗 71 （例えば $1\text{K}\Omega$ ）から電気抵抗 72 （例えば $5\text{K}\Omega$ ）へ切換えることにより、電源部 60 と電荷供給部 90 との間の電気抵抗値を調整する。電気抵抗値が大きくなる（例えば $1\text{K}\Omega$ から $5\text{K}\Omega$ になる）ように調整することにより、パルス放電の周期が所定の周期より長くなるように変化させることができる。

また、判定部 102 は、モニタ部 101 からのモニタ出力信号 $M2$ から、ワーク 150 と電極 10 との間で予め設定された所定時間以上短絡が発生し続けているか否かを判定してもよい。この場合は、判定部 102 がワーク 150 と電極 10 との間で所定時間以上短絡が発生し続けていると判定した場合に、抵抗調整信号 $TK2$ を調整部 73 へ出力する。この場合にも、調整部 73 は抵抗調整信号 $TK2$ に従って電気抵抗 71 を電気抵抗 72 へ切換えることにより、電源部 60 と電荷供給部 90 との間の電気抵抗値を調整する。電気抵抗値が大きくなることに

P26964

より、パルス放電の周期が長くなる。パルス放電の周期が長いほど発生した短絡が止まり易くなるので、パルス放電の周期を長くすることにより発生した短絡を止めることができる。

このように、パルス放電の周期を長くすることによって、ワークと電極との間の短絡の発生を防止し、また、発生した短絡を止めることができる。短絡が発生しなくなることにより、結果的に放電加工の全工程をより早く行うことができる。

なお、電気抵抗値を調整するための電気抵抗 7 1 および 7 2 は 3 つ以上設けられてもよい。

また、電気抵抗 7 1 および 7 2 の代わりに可変抵抗器が設けられてもよい。この場合、パルス放電の周期が所定の周期より大きくなるように、モニタ出力信号 M 2 に基づいて、調整部 7 3 が可変抵抗器を常に調整することにより、パルス放電を加工途中で途切れさせることなく、加工を行うことができる。これにより、さらに早く加工を行うことができる。

また、本実施の形態において、短絡が発生した場合には、実施形態 1 と同様の動作によりスイッチ部 1 4 0 をオフにすることにより、短絡を止めてもよい。

なお、本発明の実施形態において、電気抵抗や電荷供給部の値は、絶縁媒体や加工対象であるワークの材質等によって異なるように設定されるものであり、上記の電気抵抗については 1 K Ω および 5 K Ω に限るものではなく、また電荷供給部についても 1 0 p F に限るものではない。

なお、本発明では、上述の実施形態 1 ～ 3 に示す放電加工機 1 0 0 0、1 1 0 0 および 1 2 0 0 を複合して用いることも可能であり、この場合には、短絡と電解に対する各防止効果による相乗効果を得ることができる。

次に、図 7 A、図 7 B、図 7 C および図 7 D を参照して、図 1 A、図 1 B および図 5 に示す放電加工機 1 0 0 0、1 1 0 0 および 1 2 0 0 の電極 1 0 を保持するヘッド部 2 2 0 について説明する。

図 7 A を参照して、ヘッド部 2 2 0 には電極 1 0 を回転可能に保持する V 軸保持部 2 2 1 が一体に設けられている。ヘッド部 2 2 0 にはスピンドルモータ 5 1 が設けられており、スピンドルモータ 5 1 の回転は回転伝達手段 5 3 を介して電極 1 0 に伝えられる。電極 1 0 は回転工具電極であり得る。

P25964

ヘッド部 220 は、低熱膨張材である熱膨張係数 0.5×10^{-6} のスーパーインバー合金を含む。(本発明の実施形態においては、スーパーインバー合金として日本鍛造株式会社製の LEX5 を採用している。また、熱膨張係数が 5×10^{-6} 以下の低熱膨張材であればその他の材料も採用可能である。) また、ヘッド部 220 は、テーブル 20 と一体に形成されてもよい。

モータ 51 の外周部近傍には、例えば放熱フィンまたは冷却ファンである冷却手段 52 が設けられている。この冷却手段 52 は、スピンドルモータ 51 から発生する熱を放散してスピンドルモータ 51 の温度上昇を低減する。

ワーク 150 を保持する保持部 151 は加工槽であり、加工液 152 が供給される。この保持部 151 は、モータ 54 の回転がボールねじ 41 を介して伝達されることにより、リニアガイド 31 に沿って Y 軸方向に駆動される。モータ 54 はモータドライバ 120 (図 1) によって駆動され得る。また、保持部 151 には、加工位置を決定するためのリニアスケール 153 が設けられている。

加工開始時には、モータ 54 の回転により、ワーク 150 を保持した保持部 151 が電極 10 に対して所望の位置に移動する。同時に、ヘッド部 10 がワーク 150 に向かって下降される。次に、スピンドルモータ 51 によって連続的に回転駆動された電極 10 により微細加工が行なわれる。このとき、加工時において、連続して回転するスピンドルモータ 51 は、発熱して例えば約 5 度温度上昇する。この熱がヘッド部 220 に伝導すると、ヘッド部 220 は、約 3 度温度上昇するが、ヘッド部 220 は低熱膨張材からなるのでほとんど熱膨張しない。これにより、ヘッド本体部の長さ L が 50 mm である場合でも、電極 10 は、所望の加工位置から 0.075 μ m 程度しか位置ずれしない。また、冷却手段 52 によりスピンドルモータ 51 の発熱が抑えられるので、ヘッド部 220 の熱膨張はごく僅かとなり、電極 10 の位置ずれは低減される。

また、図 7B に示すように、スピンドルモータ 51 の駆動軸 55 と回転伝達手段 58 の回転軸 57 とをカップリング 56 で連結して発熱体であるスピンドルモータ 51 をヘッド部 220 から遠ざけるとともに、スピンドルモータ 51 とヘッド部 220 との間にセラミックなどを含む熱絶縁体 230 を設けてもよい。熱絶縁体 230 を設けることにより、スピンドルモータ 51 が発熱により例えば約 5

P26964

度温度上昇した場合でも、ヘッド部220の温度上昇は約0.5度以下に抑えられ、電極10は、所望の加工位置から0.43 μ m程度しか位置ずれしない。

また、図7Cおよび図7Dに示すように、スピンドルモータ51を連結部21を介してテーブル20に設けるとともに、スピンドルモータ51とヘッド部220との間に空間を設けてもよい。これにより、スピンドルモータ51が発熱して例えば約5度温度上昇した場合でも、この熱はヘッド部220に直接伝導せずに空気を介して伝導するので、ヘッド部220の温度上昇は約0.5度以下に抑えられ、電極10は加工位置から0.43 μ m以下しか位置ずれしない。

このように、スピンドルモータ51で発生した熱のヘッド部220への伝導を大幅に減少させることにより、長時間加工時におけるスピンドルモータ51の発熱に伴う電極10の位置ずれを防止し、電極10の高精度な位置決めを実現することができる。

【発明の効果】

本発明によれば、ワークと電極との間で短絡が発生していると判定された場合には、スイッチ部を所定時間オフにする。スイッチ部をオフにしてワークおよび電極への電荷の供給経路を遮断することにより、ワークおよび電極への電荷の供給を瞬時に止めることができる。ワークおよび電極への電荷の供給を瞬時に止めることにより、ワークと電極との間で発生している短絡を瞬時に止めることができる。また、スイッチ部を所定時間オフに加えて、ワークと電極との間の距離を増大させることにより、ワークと電極との間で発生している短絡をより確実に止めることができる。また、スイッチ部をオフにすることにより、ワークと電極との間の電圧が小さくなるので、異常加工の原因となるワークおよび電極の電解を防止することができる。

また、本発明によれば、パルス放電の持続時間が所定時間以下となるようにスイッチ部のオンおよびオフを交互に切り替える。パルス放電が所定時間より長く持続すると電極およびワークの電解が発生するので、パルス放電の持続時間を所定時間以下とすることにより異常加工の原因となる電極およびワークの電解を防ぐことができる。

また、本発明によれば、パルス放電の周期が所定の周期以下であると判定され

P26964

た場合には、パルス放電の周期が所定の周期より長くなるように電源とコンデンサとの間の電気抵抗値を調整する。パルス放電の周期が短いほどワークと電極との間の短絡が発生しやすくなるので、パルス放電の周期を所定の周期より長くすることによってワークと電極との間の短絡の発生を防ぐことができる。

また、本発明によれば、ワークと電極との間で所定時間以上短絡が発生し続けていると判定された場合には、パルス放電の周期が長くなるように電源とコンデンサとの間の電気抵抗値を調整する。パルス放電の周期が長いほど発生した短絡が止まり易くなるので、パルス放電の周期を長くすることにより発生した短絡を止めることができる。

また、本発明によれば、電極を保持するヘッド部を低熱膨張材で形成することにより、モータから発生した熱がヘッド部に伝導したとしてもヘッド部はほとんど膨張しないので、電極の加工位置からのずれを防止することができる。

また、本発明によれば、電極を保持するヘッド部とモータとの間に熱絶縁体を設けることにより、モータから発生した熱がヘッド部にほとんど伝導せず、ヘッド部はほとんど膨張しないので、電極の加工位置からのずれを防止することができる。

また、本発明によれば、電極を保持するヘッド部とモータとの間に空間を設けることにより、モータから発生した熱がヘッド部にほとんど伝導せず、ヘッド部はほとんど膨張しないので、電極の加工位置からのずれを防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1 A】

本発明の実施形態 1 における放電加工機を示す図

【図 1 B】

本発明の実施形態 1 における放電加工機を示す図

【図 2】

本発明の実施形態 1 における放電加工機の動作を示す図

【図 3】

本発明の実施形態 1 における放電加工機の動作を示す図

【図 4】

P26964

本発明の実施形態 2 における放電加工機の動作を示す図

【図 5】

本発明の実施形態 3 における放電加工機を示す図

【図 6】

本発明の実施形態 3 における放電加工機の動作を示す図

【図 7 A】

本発明の実施形態における放電加工機のヘッド部を示す図

【図 7 B】

本発明の実施形態における放電加工機のヘッド部を示す図

【図 7 C】

本発明の実施形態における放電加工機のヘッド部を示す図

【図 7 D】

本発明の実施形態における放電加工機のヘッド部を示す図

【図 8】

従来の放電加工機を示す図

【符号の説明】

- 10 電極
- 20 テーブル
- 30 リニアガイド
- 40 ボールネジ
- 50 モータ
- 60 直流電源
- 70、80 電気抵抗
- 90 電荷供給部
- 100 判定部
- 101 モニタ部
- 110 モータ制御部
- 111 移動制御部
- 120 モータドライバ

P26964

- 130 スイッチ制御部
- 140 スイッチ部
- 150 ワーク
- 151 保持部
- 220 ヘッド部

P26964

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ワークと電極との間で発生している短絡を瞬時に止めることおよび短絡の発生を防ぐことにより放電加工速度を向上させる。

【解決手段】 本発明の放電加工機は、放電加工対象のワークを保持する第1保持部と、第1保持部によって保持されるワークに対向して設けられる電極と、電極およびワークに電荷を供給することによりワークと電極との間にパルス放電を生じさせる電荷供給部と、電荷供給部に電圧を印加する電源部と、電荷供給部と、電極、ワークおよび電源部の内の少なくとも1つとの間に設けられるスイッチ部と、スイッチ部のオンおよびオフを制御するスイッチ制御部と、ワークと電極との間に流れる電流をモニタするモニタ部と、モニタされた電流に基づいてワークと電極との間で短絡が発生しているか否かを判定する判定部とを備え、スイッチ制御部は、ワークと電極との間で短絡が発生していると判定された場合には、スイッチ部を所定時間オフにする。

【選択図】 図1A